تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۸۶-۲۷۱

مقاله پژوهشی

# بررسی روابط میان برخی صفات در ژنوتیپ‌های توتون شرقی (*Nicotiana tabacum* L.) در شرایط استقرار گل جالیز

**مریم طهماسب عالی[۱]، رضا درویش زاده[۲*]، امیر فیاض مقدم[۲]**

۱- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

* مسئول مکاتبه: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۲۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.335178.1216**

**چکیده**

توتون یکی از گیاهان مهم زراعی، صنعتی و تجاری است که در اقتصاد کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده نقش مهمی دارد. به‌منظور تعیین مهم‌ترین صفات مؤثر بر عملکرد (وزن خشک برگ) توتون، ۹۲ ژنوتیپ توتون شرقی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال (۱۳۸۶-۱۳۸۷) در مرکز تحقیقات توتون ارومیه در شرایط نرمال (عدم حضور گل جالیز) و تنش (حضور گل جالیز) مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس تجزیه رگرسیون گام به گام، در شرایط نرمال صفات وزن تر برگ و سطح برگ و در شرایط تنش، وزن تر برگ به ترتیب ۸۰ و ۷۳ درصد از تغییرات عملکرد (وزن خشک برگ) را توجیه نمودند. بر اساس نتایج تجزیه مسیر، در هر دو شرایط نرمال و تنش، وزن تر برگ بیشترین اثر مستقیم مثبت بر عملکرد (وزن خشک برگ) توتون داشت. در تجزیه رگرسیون گام به گام برای وزن تر برگ، در شرایط نرمال وزن تر اندام هوایی و در شرایط تنش صفات وزن تر اندام هوایی، سطح برگ، روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته به ترتیب با ۶۱ و ۷۲ درصد از تغییرات وزن تر برگ را توجیه نمودند. در تجزیه مسیر برای وزن تر برگ در هر دو شرایط نرمال و تنش، صفت وزن تر اندام هوایی بالاترین اثر مستقیم مثبت بر روی وزن تر برگ داشت. با توجه به نتایج، صفت وزن تر برگ به‌عنوان مهم‌ترین عامل می‌تواند در برنامه‌های اصلاحی برای افزایش عملکرد توتون تحت شرایط گل‌جالیز مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** انتخاب غیرمستقیم، تجزیه علیت، تنش زیستی، رگرسیون گام به گام، گیاهان صنعتی

## مقدمه

توتون با نام علمی *Nicotiana tabacum* L. از خانواده بادمجانیان (Solanaceae)، از گیاهان با ارزش زراعی و اقتصادی است که بیشتر به واسطه مصرف تدخینی برگ آن کشت می‌شود (Arsalan and Okunus, 2006). علاوه بر صنایع دخانی، استفاده از آن به عنوان منبع غذایی، در مصارف صنعتی، کاربردهای پزشکی و تحقیقی در حال گسترش می‌باشد و احتمال می‌رود در آینده نزدیک این گیاه بیشتر به دلیل مصارف غیردخانی کشت شود (Tso, 2006). گل‌جالیز گیاه انگلی مطلق بوده که به ریشه بسیاری از گیاهان زراعی مهم هم‌چون گوجه‌فرنگی، آفتابگردان، خیار، توتون متصل شده و به دلیل نداشتن کلروفیل با جذب آب و مواد غذایی از میزبان سبب کاهش رشد و عملکرد، پژمردگی و در نهایت مرگ میزبان می‌شود. میزان خسارت گل‌جالیز بر اساس میزان آلودگی بین صفر تا نابودی کامل گزارش شده است (Letousey *et al.*, 2007). در حال حاضر استراتژی اصلاح برای مقاومت در برابر انگل (Rubiales, 2018; Fernández-Aparicio *et al.*, 2016) و هم‌چنین استفاده از بیمارگرهای خاک‌زی که بتوانند بذر یا گیاهچه گل‌جالیز را پیش از وارد نمودن خسارت از بین ببرند، برای کاهش سطح خسارت انگل مطرح می‌باشد (Sillero *et al.*, 2010).

در فرآیند اصلاح گیاهان زراعی، شناخت روابط میان صفات در گزینش غیرمستقیم برای صفاتی که به‌آسانی قابل اندازه‌گیری نیستند و یا صفاتی که وراثت‌پذیری پایینی دارند، بسیار مهم است (Khan *et al.*, 2022). از طرف دیگر اصلاح‌گران گیاهی به‌ندرت علاقه‌مند به اصلاح یک صفت تنها هستند و از این‌رو نیاز به بررسی روابط بین صفات مختلف، به‌خصوص بین عملکرد و صفات دیگر وجود دارد. عدم توجه به نحوه ارتباط و همبستگی بین صفات مختلف و انتخاب برای یک صفت زراعی در برنامه‌های اصلاحی، ممکن است منجر به نتیجه‌ای کمتر از میزان مورد انتظار و یا نتیجه‌ای معکوس برای صفات مهم دیگر شود (Bernardo, 2010). لذا همبستگی بین

صـفات و نحوه تأثیر آن‌ها بر یکدیگر (رابطه علت و معلول) باید در برنـامـه‌هـای گزینش مورد توجـه قرار گیرد (Majidi and Mirlohi, 2009).

وجود رابطه علیت با مطالعات میدانی یا قضـاوت فردی مشخص می‌شود. در مواردی که فرضیه‌ای درباره اثر یک یا چند متغیر (علّت) بر روی یـک متغیر دیگر (معلول) وجود داشـتـه باشـد، از رگرسـیون اسـتفاده می‌شـود. رگرسـیون گام به گام (Step-wise regression) یکی از پرکـاربردترین روش‌هـای آماری اسـت که به کمک آن می‌توان اثر صـفات غیر مؤثر یا کم تأثیر را در مدل رگرسیونی بر روی عملکرد (معلول) حذف نموده و تنها صفاتی را که میزان قابل ملاحظه‌ای از تغییرات عملکرد را توجیه می‌نمایند (علّت) انتخاب نمود (Kent *et al.*, 2022). با وجود اینکـه تجزیـه رگرسـیون نقش مؤثری در یـافتن عوامـل تأثیرگذار اصلی در عملکرد به‌عنوان یک متغیر وابسته دارد؛ ولی قادر به نشـان دادن اثرات مسـتقیم و غیرمسـتقیم میان متغیرها نیسـت. تجزیه ضـرایب مسـیر (تجزیه علیت) که توسـط رایت پیشنهاد گردیده است (Wright, 1921)، نوعی تجزیه رگرسیون چندگانه استاندارد شده است که ضرایب همبستگی فنوتیپی را به اثرات مسـتقیم و غیرمسـتقیم تفکیک می‌نماید (Izadi *et al.*, 2022). اسـتفاده از ضـرایب همبسـتگی ژنتیکی در تجزیه مسـیر به عنوان ورودی نسـبت به ضـرایب همبسـتگی فنوتیپی، ارجحیت دارد، چرا که در همبسـتگی‌های ژنتیکی، اثر عوامل خارجی که در ایجاد ارتباط غیرواقعی بین صـفات دخالت دارند، حذف می‌شـوند؛ یا به حداقل مقدار خود می‌رسـند. علاوه بر این، در روش معمول تجزیه مسیر (Botelho *et al.*, 2021)، تمامی متغیرهای پیش‌بینی کننده در یک سـطح قرار گرفته و سـپس اثرات مسـتقیم و غیرمسـتقیم آن‌ها بر روی متغیر تابع محاسـبه می‌شـود. در روش جدید که برای اولین بار در گیاه برنج معرفی شـد، متغیرهای پیش‌بینی کننده برحسـب اهمیتی که در متغیر تابع دارند، در سطوح مختلف قرار می‌گیرند (Samonte *et al.*, 1998).

در چندین مطالعه با استفاده از تجزیه علیت، آثار مستقیم و غیر مستقیم صفات مرتبط با عملکرد در توتون برآورد و گزارش شده است. منتها تاکنون مطالعات کمی در زمینه بررسی ارتباط بین عملکرد و اجزای عملکرد توتون تحت شـرایط تنش گل جالیز انجام شـده اسـت. در یک مطالعه بر روی توتون با تجزیه مسیر روشن گردید که اثر مستقیم تعداد برگ، سطح برگ، وزن تر کل، میزان نیکوتین، قند و کلرید بر روی عملکرد برگ بیشتر اسـت. با این‌حال، سـهم مثبت و غیرمسـتقیم ارتفاع بوته، طول برگ و سـطح برگ در افزایش عملکرد قـابـل توجـه بود (Ramachandra *et al.*, 2014). در پژوهشـی دیگر محققان گزارش کردند که طول برگ بیشـترین همبسـتگی مثبت و معنی‌دار را بـا عملکرد برگ خشـک توتون دارا می‌بـاشـد (Panikar and Goalaswamy, 1997). در آزمـایش آن‌هـا (Panikar and Goalaswamy, 1997) مشـاهده شـد با اینکه ارتفاع بوته همبسـتگی مثبتی با عملکرد دارد، ولی اثر مسـتقیم آن بر روی عملکرد منفی است. تعداد برگ در بوته و عرض برگ دارای بیشـترین اثر مسـتقیم بر روی عملکرد توتون می‌باشـند درحـالی‌کـه اجزایی هم‌چون ارتفـاع بوتـه، طول برگ و روز تـا گل‌دهی به‌صورت غیرمستقیم بر عملکرد تأثیر داشتند (Joh *et al.*, 2002). در بررسی همبستگی بین صفات و تجزیه علیت در توتون‌های ترکیه‌ای (Kara and Esendal, 1996)، همبسـتگی مثبتی بین عملکرد برگ خشـک با شـاخص سـطح برگ و عرض برگ مشـاهده شـد و هم‌چنین بیشـترین اثر مسـتقیم بر روی عملکرد از طریق صفات شاخص سطح برگ و تعداد برگ بود. در آزمایشی همبستگی مثبتی بین تعداد برگ و طول برگ در ارقام توتون گرمخانه‌ای (Flue cured tobacco) گزارش شد (Legg and Collins, 1971). بر اسـاس نتایج پژوهشـی در توتون، گزارش شـد که صـفات طول برگ، عرض برگ، روز تا گل‌دهی و تعداد برگ در هر بوته بیشـترین اثر مسـتقیم بر عملکرد برگ خشـک دارند و لذا انتخاب بر اسـاس این صـفات را در افزایش عملکرد مؤثر دانستند (Cho and Chang, 1990). در مطالعات ایشـان مشـاهده شـد که سـه صـفت طول برگ، روز تا گل‌دهی و نیتروژن کل بیشـترین اثر غیرمستقیم را از طریق سایر صفات بر روی عملکرد دارند. این پژوهش با هدف بررسـی ارتباط بین صـفات مورفولوژیک با عملکرد (وزن خشـک برگ) و تعیین صـفات پر اهمیت در افزایش عملکرد (وزن خشـک برگ) توتون در شرایط نرمال و تنش گل جالیز انجام شد.

## مواد و روش‌ها

### مواد گیاهی و اعمال تنش

۹۲ ژنوتیپ توتون شـرقی و تنباکو (جدول ۱) در دو محیط

عدم حضور گل جالیز و حضور گل جالیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال متوالی (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) در مرکز تحقیقات توتون ارومیه با طول جغرافیایی ۴۴/۵۸ درجه شرقی و عرض ۳۷/۳۴ درجه شمالی با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح در شرایط گلدانی ارزیابی شدند. برای این منظور گلدان‌های سفالی به ابعاد؛ قطر دهانه بالا ۲۲ سانتی‌متر، قطر دهانه پایین ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۷/۵ سانتی‌متر، انتخاب و با خاکی که از مزرعه یونجه تهیه شده بود، پر شدند. در آزمایش گل جالیزدار، خاک گلدان‌ها قبل از پر شدن، با ۰/۰۶ گرم بذر گل جالیز (*Orobanche cernua*) مخلوط شد. نشاء هر یک از ژنوتیپ‌های توتون در خزانه تهیه شد و وقتی گیاهچه‌های توتون به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر رسیدند، به گلدان‌ها منتقل شدند. تمامی عملیات زراعی در طول دوره رشد توتون با توجه به استانداردهای موجود برای توتون شرقی و تنباکو انجام گرفت. برگ‌های ژنوتیپ‌های توتون در زمان رسیدگی صنعتی برداشت و در جلوی آفتاب خشک شدند (Sun-cured). در هر یک از شرایط نرمال و تنش گل جالیز، صفات ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، روز تا گل‌دهی (روز)، تعداد برگ، سطح برگ (سانتی‌متر مربع)، وزن تر برگ (گرم)، وزن خشک برگ (گرم)، وزن تر ریشه (گرم)، وزن خشک ریشه (گرم)، وزن تر و خشک لندام هوایی (گرم) در ژنوتیپ‌های توتون و تنباکو اندازه‌گیری شدند.

## تجزیه‌های آماری

همبستگی ژنتیکی صفات در هر یک از شرایط نرمال و تنش به روش بیشینهٔ درستنمایی محدودشده (Restricted (or residual, or reduced) maximum likelihood) در نرم‌افزار SAS محاسبه شد (Holland, 2006). جهت برازش یک مدل توصیفی بین صفات تحت بررسی به‌عنوان متغیرهای مستقل (X) و عملکرد به‌عنوان متغیر تابع (Y) و نیز تعیین سهم اثرات صفات در عملکرد (وزن خشک برگ) از روش رگرسیون گام به گام استفاده گردید. قبل از انجام تجزیه رگرسیون، برقراری فرض‌های تجزیه رگرسیون چندگانه از قبیل مستقل بودن متغیرهای پیشگو (X) و مستقل بودن خطاهای آزمایشی بررسی شد. آزمون استقلال خطاهای آزمایشی با استفاده از آماره دوربین- واتسون (Durbin-Watson) و هم‌خطی چندگانه (Multi-collinearity) با استفاده از عامل تورم واریانس (Variance inflation factor) (Belsley *et al.*, 1980) بررسی شد. با تجزیه مسیر بر اساس ضرایب همبستگی ژنوتیپی، آثار مستقیم و غیرمستقیم صفات مؤثر بر عملکرد (وزن خشک برگ) محاسبه گردید. برای انجام تجزیه رگرسیون از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. تجزیه مسیر با استفاده از برنامه توسعه‌یافته در نرم‌افزار R انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### تجزیه رگرسیون گام به گام

به‌منظور بررسی تغییرات عملکرد (وزن خشک برگ) با استفاده از صفات مورد بررسی و تعیین سهم و اهمیت این صفات در تغییرات عملکرد، تجزیه رگرسیون گام به گام انجام شد (جدول ۳). با توجه به نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون گام به گام وزن خشک برگ، مقدار آماره دوبین- واتسون در شرایط نرمال و تنش به ترتیب برابر ۱/۹۳ و ۱/۷۷ بود (جداول ۴ و ۵) که نشان‌دهنده مستقل بودن خطاهای آزمایشی می‌باشد.

مقادیر عامل تورم واریانس برای متغیرهای مستقل در هر دو شرایط کوچک‌تر از ۱۰ بودند که نمایانگر عدم وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل می‌باشد. هرچه مقدار عامل تورم واریانس یک متغیر پیش‌بین بیشتر باشد، نقش آن متغیر در مدل رگرسیون نسبت به سایر متغیرها کمتر است (Kuh and Welsch, 1980). عامل تورم واریانس معکوس تاب‌آوری می‌باشد. با افزایش مقدار تولرانس، عامل تورم واریانس کاهش می‌یابد. اگر مقدار عامل تورم واریانس از ۲ بزرگ‌تر باشد، میزان هم‌خطی بیشتر است. در صورتی که عامل تورم واریانس بیشتر از ۱۰ باشد، مشکل هم‌خطی جدی وجود دارد. اگر متغیرهای پیش‌بین همبستگی نداشته باشند، همه عامل‌های تورم واریانس برابر یک خواهد بود (Kuh and Welsch, 1980).

رگرسیون گام به گام در دو شرایط نرمال و تنش (جداول ۴ و ۵) نشان داد که در شرایط نرمال صفات وزن تر برگ و سطح برگ به ترتیب اهمیت وارد مدل رگرسیونی شدند که به ترتیب ۷۹ و ۱ درصد و در مجموع ۸۰ درصد از تغییرات مدل را توجیه می‌نمودند (جداول ۴ و ۵). مدل نهایی برای عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط نرمال در معادله شماره ۱ در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس نتایج ژنوتیپ‌هایی که از وزن تر برگ و سطح برگ بالاتری برخوردار باشند عملکرد بیشتری در شرایط نرمال تولید می‌کنند.

**جدول ۱- اسامی ژنوتیپ‌های توتون شرقی و تنباکو مورد مطالعه**

**Table 1. The names of studied oriental and water pipe's tobacco genotypes**

| کد Code | نام ژنوتیپ Genotype name | کد Code | نام ژنوتیپ Genotype name | کد Code | نام ژنوتیپ Genotype name | کد Code | نام ژنوتیپ Genotype name |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | خرمنلی ۱۶۳ Kharmanli 163 | 24 | اچ تی آی H.T.I | 47 | باسما ۱۸۱-۸ Basma 181-8 | 70 | اس پی تی ۴۳۰ SPT 430 |
| 2 | نوروکوپ Nevrokop | 25 | کراموگرید ان اچ اچ ۶۵۹ Kramograd N.H.H. 659 | 48 | زیخنا Zichna | 71 | اس پی تی ۴۳۲ SPT 432 |
| 3 | ترابُزان Trabozan | 26 | تی کا ۲۳ T.K.23 | 49 | ازمیر Izmir | 72 | اس پی تی ۴۳۳ SPT 433 |
| 4 | کروموگرِید Krumovgraid | 27 | ال ۱۶ آ L 16a | 50 | پی دی ۳۲۴ P.D.324 | 73 | اس پی تی ۴۳۴ SPT 434 |
| 5 | باسما سرس ۳۱ Basma S. 31 | 28 | ازمیر ۷ Izmir 7 | 51 | پی دی ۳۲۵ P.D.325 | 74 | اس پی تی ۴۳۶ SPT 436 |
| 6 | تریومف Triumph | 29 | موتانت ۳ Mutant 3 | 52 | پی دی ۴۰۶ P.D.406 | 75 | اس پی تی ۴۳۹ SPT 439 |
| 7 | گزانتی Xanthi | 30 | موتانت ۴ Mutant 4 | 53 | پی دی ۳۲۸ P.D.328 | 76 | اس پی تی ۴۴۱ SPT 441 |
| 8 | ماتیانوس Matianus | 31 | پوبدا ۱ Pobeda 1 | 54 | پی دی ۳۲۹ P.D.329 | 77 | اصفهانی ۲ Esfahan2 |
| 9 | ایمنی ۳۰۰۰ Immni 3000 | 32 | پوبدا ۲ Pobeda 2 | 55 | پی دی ۳۳۶ P.D.336 | 78 | اس پی تی ۴۱۳ SPT 413 |
| 10 | ملکین ۲۶۱ Melkin 261 | 33 | روستیکا Rustica | 56 | پی دی ۳۴۵ P.D.345 | 79 | اصفهانی Esfahani |
| 11 | تیک-کولا Tyk-Kula | 34 | سامسون ۹۵۹ Samsun 959 | 57 | پی دی ۳۶۴ P.D.364 | 80 | جهرمی ۱۴ Jahrom14 |
| 12 | اس اس-۲۸۹-۲ Ss-289-2 | 35 | سامسون دره Samsun dere | 58 | پی دی ۳۶۵ P.D.365 | 81 | برازجانی Borazjan |
| 13 | اوهداروما Ohdaruma | 36 | او آر ۲۰۵ OR-205 | 59 | پی دی ۳۷۱ P.D.371 | 82 | ال ۱۶بی L 16b |
| 14 | پلودیو ۵۸ Ploudive 58 | 37 | او آر ۳۴۵ OR-345 | 60 | پی دی ۳۸۱ P.D.381 | 83 | بلوچی Balouch |
| 15 | لاین ۲۰ Line 20 | 38 | او آر ۳۷۹ OR-379 | 61 | اس پی تی ۴۰۳ SPT 403 | 84 | لنگه Lengeh |
| 16 | تی بی ۲۲ T-B-22 | 39 | سی اچ تی ۲۰۹ .۱۲ای C.H.T.209.12e | 62 | اس پی تی ۴۰۵ SPT 405 | 85 | صادراتی Saderati |
| 17 | تی اس ۸ Ts 8 | 40 | سی اچ تی ۲۰۹.۱۲ای × اف کا۴۰-۱ C.H.T.209.12e×F.K.40-1 | 63 | اس پی تی ۴۰۶ SPT 406 | 86 | عراقی Eraghi |
| 18 | البرز ۲۳ Alborz23 | 41 | سی اچ تی ۲۶۶-۶ C.H.T.266-6 | 64 | اس پی تی ۴۰۸ SPT 408 | 87 | شاهرودی Shahroudi |
| 19 | اف کا ۴۰-۱ F.K.40-1 | 42 | سی اچ تی ۲۸۳-۸ C.H.T.283-8 | 65 | اس پی تی ۴۰۹ SPT 409 | 88 | تی کا ال T.K.L |
| 20 | پی زد ۱۷ Pz17 | 43 | سی اچ تی ۲۷۳-۳۸ C.H.T.273-38 | 66 | اس پی تی ۴۱۰ SPT 410 | 89 | ال ۱۷ L 17 |
| 21 | کا پی اچ آ K.P.Ha | 44 | باسما ۱۲-۲ Basma 12-2 | 67 | اس پی تی ۴۱۲ SPT 412 | 90 | سی اچ تی ۲۶۹-۱۲ای C.H.T.269-12e |
| 22 | کا بی K.B | 45 | باسما ۱۶-۱۰ Basma 16-10 | 68 | اصفهان ۵ Esfahan5 | 91 | سامسون ۱ Samsun 1 |
| 23 | جی دی ۱۶۵ G.D.165 | 46 | باسما ۱۰۴-۱ Basma 104-1 | 69 | اس پی تی ۴۲۰ SPT 420 | 92 | سامسون کاترینی Samsun katerini |

در شرایط تنش نیز صفت وزن تر برگ وارد مدل رگرسیونی شد که ۷۳ درصد از تغییرات عملکرد (وزن خشک برگ) را توجیه می‌نمود (جداول ۴ و ۵). معادله شماره ۲ در جدول ۲، معادله نهایی رگرسیونی برای عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط تنش را نشان می‌دهد. بر اساس این معادله، ژنوتیپ‌هایی که وزن تر برگ بالاتری دارند از عملکرد (وزن برگ خشک) بالاتری برخوردار خواهند بود.

با توجه به اینکه وزن تر برگ در هر دو شرایط نرمال و تنش سهم بیشتری در توجیه تغییرات عملکرد (وزن خشک برگ) داشت پس می‌توان گفت با انتخاب برای برگ تر بیشتر به میزان زیادی می‌توان به بهبود عملکرد (وزن خشک برگ) توتون هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش کمک نمود.

به‌منظور بررسی عوامل تأثیرگذار بر وزن تر برگ در هر یک از شرایط نرمال و تنش رگرسیون گام به گام برای وزن تر برگ نیز انجام گرفت. مقدار آماره دوبین- واتسون در شرایط نرمال و تنش به ترتیب برابر ۱/۵۹ و ۲/۰۵۸ بود (جداول ۴ و ۵). مقادیر عامل تورم واریانس برای متغیرهای مستقل در هر دو شرایط کوچک‌تر از ۱۰ بودند (جداول ۴ و ۵) که نمایانگر استقلال خطاها و عدم وجود هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل می‌باشند.

**جدول ۲- مدل نهایی معادله رگرسیونی برای عملکرد (وزن خشک برگ) و وزن تر برگ (عملکرد برگ سبز) در شرایط نرمال و تنش گل جالیز**

**Table 2. The final regression model for yield (dry weight of leaf) and for fresh weight of leaf (green leaf yield) under normal and broomrape stress conditions**

| شماره No. | شرایط Conditions | معادله Equation | ضریب تبیین Coefficient of determination | متغیرهای معادله Equation variables |
|---|---|---|---|---|
| 1 | معادله رگرسیونی برای عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط نرمال<br>The final regression model for yield (dry weight of leaf) under normal conditions | $Y=-0.76+0.22^{**}X_1+0.001^{*}X_2$ | $R^2$ adjusted = 80% | Y: عملکرد (وزن خشک برگ)<br>Y: Yield (dry weight of leaf)<br>X1 : وزن تر برگ<br>X1: Fresh weight of leaf<br>X2: سطح برگ<br>X2: Leaf area |
| 2 | معادله رگرسیونی برای عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط تنش گل جالیز<br>The final regression model for yield (dry weight of leaf) under broomrape stress conditions | $Y= -1.07+0.28^{**}X_1$ | $R^2$ adjusted = 73% | Y: عملکرد (وزن خشک برگ)<br>Y: Yield (dry weight of leaf)<br>X1 : وزن تر برگ<br>X1: Fresh weight of leaf |
| 3 | معادله رگرسیونی برای عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ) در شرایط نرمال<br>The final regression model for green leaf yield (fresh weight of leaf) under normal conditions | $Y=-1.67+0.84^{**}X_1$ | $R^2$ adjusted = 61% | Y: عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ)<br>Y: Green leaf yield (fresh weight of leaf)<br>X1: وزن تر اندام هوایی<br>X1: Aerial part fresh weight |
| 4 | معادله رگرسیونی برای عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ) در شرایط تنش گل جالیز<br>The final regression model for green leaf yield (fresh weight of leaf) under broomrape stress conditions | $Y=-27.30+0.50^{**}X_1+0.012^{**}X_2+0.80^{**}X_3-0.27^{*}X_4$ | $R^2$ adjusted = 72% | Y: عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ)<br>Y: Green leaf yield (fresh weight of leaf)<br>X1: وزن تر اندام هوایی<br>X1: Aerial part fresh weight<br>X2: سطح برگ<br>X2: Leaf area<br>X3: روز تا گلدهی<br>X3: Day to flowering<br>X4: ارتفاع بوته<br>X4: Plant height |

در رگرسیون گام به گام برای وزن تر برگ به‌عنوان صفت وابسته در شرایط نرمال، وزن تر اندام هوایی وارد مدل رگرسیونی شد که ۶۱ درصد از تغییرات مدل را توجیه می‌نمود (جدول ۴). معادله رگرسیونی برای وزن تر برگ در شرایط نرمال (معادله شماره ۳) در جدول ۲ آورده شده است.

در شرایط تنش دوباره وزن تر لندام هوایی اولین متغیری

بود که وارد مدل شد و ۵۹ درصد از تغییرات وزن تر برگ را توجیه می‌نمود (جدول ۴ و ۵). در این شرایط علاوه بر وزن تر اندام هوایی صفات سطح برگ، روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته نیز وارد مدل رگرسیونی شدند و در مجموع توانستند ۷۲ درصد از تغییرات وزن تر برگ را توجیه نمایند (جدول ۴ و ۵).

مدل نهایی برای وزن تر برگ در شرایط تنش (معادله شماره ۴) در جدول ۲ آورده شده است و بر اساس نتایج ژنوتیپ‌هایی که وزن تر اندام هوایی، سطح برگ و روز تا گل‌دهی بیشتری دارند وزن تر برگ بیشتری در شرایط تنش تولید می‌کنند.

در میان متغیرهای مستقل موجود در معادله رگرسیونی، سه صفت اولی که وارد مدل رگرسیونی شدند شیب خط رگرسیونی مثبت داشته و رابطه افزاینده با عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ) نشان دادند و تنها صفت ارتفاع بوته شیب خط رگرسیونی منفی داشته و رابطه کاهنده با عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ) نشان داد.

**جدول ۳- تجزیه رگرسیون گام به گام و ضریب تبیین تعدیل‌شده برای مدل برازش شده در شرایط نرمال و تنش گل جالیز**

**Table 3. Stepwise regression analysis and adjusted coefficient of determination for fitted model under normal (without broomrape) and broomrape stress conditions**

| متغیر وابسته Dependent variable | منبع تغییر Source of variation | شرایط نرمال Normal conditions | | | شرایط تنش گل جالیز Broomrape stress conditions | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درجه آزادی degree of freedom | میانگین مربعات Mean square | F | درجه آزادی degree of freedom | میانگین مربعات Mean square | F |
| عملکرد (وزن خشک برگ) Yield (dry weight of leaf) (g) | رگرسیون Regression | 2 | 3354.65 | 182.99** | 1 | 3398.19 | 245.58** |
| | باقیمانده Residual | 89 | 18.33 | | 90 | 13.84 | |
| | $R^2$ تصحیح شده Adjusted $R^2$ | 0.80 | | | 0.73 | | |
| وزن تر برگ FWL (g) | رگرسیون Regression | 1 | 68483.803 | 144.076** | 4 | 8117.615 | 60.033** |
| | باقیمانده Residual | 90 | 475.331 | | 87 | 135.219 | |
| | $R^2$ تصحیح شده Adjusted $R^2$ | 0.61 | | | 0.72 | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively. FWL: Fresh weight of leaf; g: gram.

با توجه به این موضوع که وزن تر اندام هوایی در هر دو شرایط نرمال و تنش سهم بیشتری از تغییرات عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ) را توجیه می‌نماید بنابراین با انتخاب برای وزن تر اندام هوایی بیشتر می‌توان به میزان زیادی به بهبود عملکرد (وزن خشک برگ) توتون هم در شرایط نرمال و هم در شرایط تنش کمک نمود.

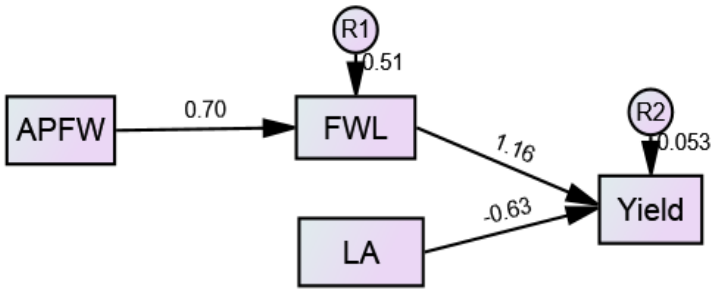
در پژوهشی در تجزیه رگرسیون گام به گام عملکرد (وزن خشک برگ) در توتون، گزارش شد که صفات وزن تر برگ، درصد ماده خشک، ارتفاع بوته و ضریب سطح برگ در مدل رگرسیونی باقی ماندند و عملکرد برگ سبز بیش از ۷۶ درصد از تنوع موجود در عملکرد (وزن خشک برگ) را توجیه نمود و از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد (وزن خشک برگ) بود و بر اساس نتایج تجزیه مسیر بیشترین اثر مستقیم و مثبت بر عملکرد (وزن خشک برگ) مربوط به وزن تر برگ بود (Mansour Ghanaei *et al.*, 2014).

## تجزیه مسیر عملکرد برگ خشک

برای درک بهتر رابطه بین عملکرد (وزن خشک برگ) و صفات گزینش‌شده توسط رگرسیون گام به گام، تجزیه مسیر انجام شد.

با توجه به نتایج حاصل از جدول تجزیه ضرایب مسیر برای وزن خشک و تر برگ در ژنوتیپ‌های توتون در شرایط نرمال

(جدول ۶) مشـــاهده می‌شـــود که وزن تر برگ بیشـــترین اثر مسـتقیم مثبت (۰/۸۷) را بر عملکرد (وزن خشـک برگ) دارد و از طریق ســـطح برگ اثر غیرمســـتقیم مثبت (۰/۶۱) را بر آن اعمال می‌کند. وزن تر برگ بالاترین همبســـتگی (۰/۸۲) را با عملکرد (وزن خشک برگ) دارا بود و تجزیه مسیر نشان می‌دهد که در این همبسـتگی سـهم ناشـی از اثر مسـتقیم این صـفت بر روی عملکرد (وزن خشک برگ) بیشتر است. اثر مستقیم صفت سـطح برگ بر روی عملکرد (وزن خشـک برگ) مثبت و برابر با ۰/۰۹ بود (جدول ۶). اثر غیرمستقیم این صفت از طریق وزن تر برگ برابر بـا ۰/۰۶ بود. مقـدار اثر بـاقی‌مـانـده برابر بـا ۰/۱۳ بود (جدول ۶). نتایج تجزیه مســـیر صـــفات مؤثر بر عملکرد (وزن خشـک برگ) در توتون‌های شـرقی در شـرایط نرمال به صـورت نمودار در شکل ۱ آورده شده است.




**شکل ۱- نمودار تجزیه مسیر صفات مؤثر بر عملکرد (وزن خشک برگ) در توتون‌های شرقی در شرایط نرمال. LA: سطح برگ، FWL: وزن تر برگ، APFW: وزن تر اندام هوایی و Yield: عملکرد (وزن خشک برگ)، R: باقی مانده.**

**Figure 1. The chart of path analysis of traits affecting dried leaf yield in oriental tobacco genotypes under normal conditions (without broomrape stress). LA: Leaf area, FWL: Fresh weight of leaf, APFW: Aerial part fresh weight, Yield (dry weight of leaf), R: Residual.**

**جدول ۴- تجزیه رگرسیون گام به گام برای وزن خشک و تر برگ با سایر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های توتون در شرایط نرمال**

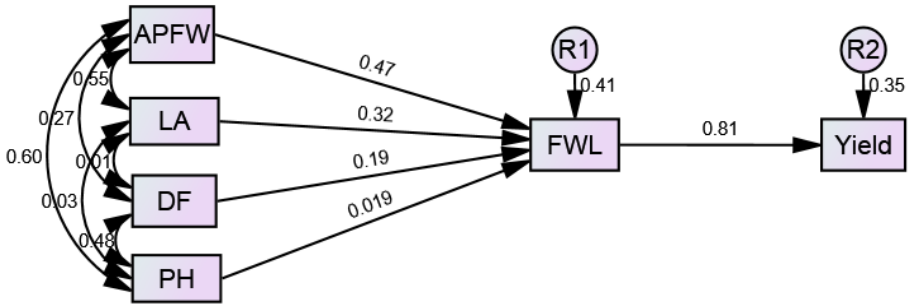
**Table 4. Stepwise regression analysis for dry and fresh leaf weight with other traits in tobacco genotypes under normal conditions**

| گام Step | متغیرهای وارد شده به مدل Variables entered to model | عرض از مبدا Intercept (a) | ضرایب رگرسیون Regression coefficients | | $R^2$ تصحیح شده Adjusted $R^2$ | ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficient | ضرایب استاندارد شده Standardized coefficient | عامل تورم واریانس VIF | معنی داری Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $b_1$ | $b_2$ | | | | | |
| 1 | وزن تر برگ FWL (g) | 0.28 | 0.24** | | 0.79 | 0.24 | 0.89** | 1 | 0.000 |
| 2 | سطح برگ LA ($cm^2$) | -0.76 | 0.22** | 0.001* | 0.80 | 0.001 | 0.13* | 1.77 | 0.038 |
| | | | دوربین واتسون Durbin-Watson= 1.93 | | | | | | |
| 1 | وزن تر اندام هوایی APFW (g) | -1.67 | 0.84** | | 0.61 | 0.84 | 0.785** | 1 | 0.000 |
| | | | دوربین واتسون Durbin-Watson= 1.59 | | | | | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively. FWL: Fresh weight of leaf; LA: Leaf area; APFW: Aerial part fresh weight; VIF: Variance inflation factor; g: gram; $cm^2$: square centimeters.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم و مثبت وزن تر برگ و نیز تأثیر غیرمستقیم مثبت و بالای این صفت از طریق سطح برگ می‌باشد توصیه می‌شود که از وزن تر برگ برای انتخاب صفت عملکرد (وزن خشک برگ) در شرایط نرمال استفاده شود. در تجزیه مسیر در شرایط تنش (جدول ۷) اثر مستقیم وزن تر برگ بر عملکرد (وزن خشک برگ) ۰/۸۱ بود. میزان اثرات باقی‌مانده که مدل قادر به توجیه آن نبود ۰/۳۵ می‌باشد (شکل ۲).




**شکل ۲- نمودار تجزیه مسیر صفات مؤثر بر عملکرد (وزن خشک برگ) در توتون‌های شرقی در شرایط تنش گل جالیز. DF: روز تا گل‌دهی، PH: ارتفاع بوته، LA: سطح برگ، FWL: وزن تر برگ، APFW: وزن تر اندام هوایی و Yield: عملکرد (وزن خشک برگ)، R: باقی مانده.**

**Figure 2. The chart of path analysis of traits affecting dried leaf yield in oriental tobacco genotypes under broomrape stress conditions. DF: Day to flowering, PH: Plant height, LA: Leaf area, FWL: Fresh weight of leaf, APFW: Aerial part fresh weight, Yield (dry weight of leaf), R: Residual.**

## تجزیه مسیر عملکرد برگ سبز (وزن تر برگ)

با توجه به اینکه صفت وزن تر برگ جزء اصلی عملکرد (وزن خشک برگ) بود و بیشترین تأثیر را بر عملکرد (وزن خشک برگ) داشت و نیز با توجه به تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم مثبت آن بر عملکرد (وزن خشک برگ) توتون، تجزیه مسیر برای صفت وزن تر برگ به‌عنوان متغیر وابسته نیز انجام شد تا تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم صفات بر آن مشخص گردد.

در تجزیه مسیر در شرایط نرمال (جدول ۶) اثر مستقیم صفت وزن تر لندام هوایی بر وزن تر برگ مثبت و برابر ۰/۷۰ بود.

نتایج حاصل از تجزیه مسیر برای وزن تر برگ در شرایط تنش (جدول ۷) نشان داد که وزن تر اندام هوایی بیشترین اثر مستقیم مثبت (۰/۴۷) را بر وزن تر برگ دارد و هم‌چنین از طریق سطح برگ بالاترین اثر غیرمستقیم مثبت (۰/۱۸) را بر آن اعمال می‌کند. اثر غیرمستقیم وزن تر اندام هوایی بر وزن تر برگ از طریق صفات روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته نیز مثبت اما ناچیز بود. وزن تر اندام هوایی که بالاترین همبستگی (۰/۷۱) را با وزن تر برگ دارا بود؛ بر اساس نتایج تجزیه مسیر مشخص شد این همبستگی بیشتر ناشی از اثر مستقیم و مثبت این صفت بر روی وزن تر برگ است. با توجه به همبستگی مثبت و بالایی که بین وزن تر برگ و وزن تر اندام هوایی وجود دارد؛ افزایش در وزن تر اندام هوایی می‌تواند موجب افزایش وزن تر برگ شود. اثر مستقیم صفت سطح برگ بر روی وزن تر برگ مثبت و برابر با ۰/۳۲ بود (جدول ۷). اثر غیرمستقیم صفت سطح برگ از طریق وزن تر لندام هوایی مثبت و برابر با ۰/۲۶ بود. هم‌چنین اثر غیرمستقیم صفت سطح برگ از طریق روز تا گل‌دهی و ارتفاع بوته مقداری ناچیز اما مثبت بود. اثر مستقیم صفت روز تا گل‌دهی بر روی وزن تر برگ مثبت و برابر با ۰/۱۹ بود (جدول ۷). اثر غیرمستقیم روز تا گل‌دهی از طریق وزن تر لندام هوایی مثبت و برابر با ۰/۱۲۷ بود. اثر غیرمستقیم روز تا گل‌دهی از طریق سطح برگ و ارتفاع بوته مقداری ناچیز اما مثبت بود. اثر مستقیم ارتفاع بوته بر روی وزن تر برگ مثبت و برابر با ۰/۰۱۹ بود (جدول ۷). اثر غیرمستقیم ارتفاع بوته از طریق وزن تر اندام هوایی مثبت و برابر با ۰/۲۸ بود. هم‌چنین اثر غیرمستقیم صفت ارتفاع بوته از طریق سطح برگ و روز تا گل‌دهی مقداری ناچیز اما مثبت بود.

**جدول ۵- تجزیه رگرسیون گام به گام برای وزن خشک و تر برگ با سایر صفات مورد بررسی در ژنوتیپ‌های توتون در شرایط تنش گل جالیز**

**Table 5. Stepwise regression analysis for dry and fresh leaf weight with other traits in tobacco genotypes under broomrape stress conditions**

| گام Step | متغیرهای وارد شده به مدل Variables interred to model | عرض از مبدا Intercept (a) | ضرایب رگرسیون Regression coefficients $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $R^2$ تصحیح شده Adjusted $R^2$ | ضرایب استاندارد نشده Unstandardized coefficient | ضرایب استاندارد شده Standardized coefficient | عامل تورم واریانس VIF | معنی داری Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | وزن تر برگ FWL (g) | -1.07 | 0.28** | | | | 0.73 | 0.28 | 0.86** | 1 | 0.00 |
| | دوربین واتسون Durbin-Watson= 1.77 | | | | | | | | | | |
| 1 | وزن تر اندام هوایی APFW (g) | 8.58 | 0.74** | | | | 0.59 | 0.50 | 0.52** | 2.51 | 0.00 |
| 2 | سطح برگ LA ($cm^2$) | 5.05 | 0.43** | 0.013** | | | 0.69 | 0.012 | 0.40** | 2.06 | 0.00 |
| 3 | روز تا گلدهی DF (day) | -20.74 | 0.40** | 0.012** | 0.47* | | 0.70 | 0.77 | 0.23** | 1.61 | 0.001 |
| 4 | ارتفاع گیاه PH (cm) | -27.30 | 0.50** | 0.012** | 0.77** | -0.27* | 0.72 | -0.27 | -0.20* | 2.02 | 0.01 |
| | دوربین واتسون Durbin-Watson= 2.058 | | | | | | | | | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده که نشان‌دهنده تأثیر مستقیم و مثبت وزن تر اندام هوایی و نیز تأثیر غیرمستقیم و مثبت که صفت ارتفاع بوته از طریق صفت وزن تر اندام هوایی داشت توصیه می‌شود که از انتخاب برای صفت وزن تر اندام هوایی برای اصلاح صفت وزن تر برگ در شرایط تنش استفاده شود.

**جدول ۶- تجزیه ضرایب مسیر برای وزن خشک و تر برگ در ژنوتیپ های توتون در شرایط نرمال**

**Table 6- The path coefficient analysis for dry and fresh leaf weight in genotypes of tobacco under normal conditions**

| متغیر وابسته Dependent variable | صفات Traits | ضرایب همبستگی با عملکرد (وزن خشک برگ) Correlation coefficients with dried leaf weight | اثر مستقیم Direct effect | اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect through: وزن تر برگ FWL (g) | اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect through: سطح برگ LA ($cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد (وزن خشک برگ) Yield (dry weight of leaf) (g) | وزن تر برگ FWL (g) | 0.82** | 1.16 | ---- | -0.34 |
| | سطح برگ LA ($cm^2$) | 0012 | -0.63 | 0.64 | ---- |
| | اثرات باقیمانده Residual effects ($\sqrt{1-R^2}$) =0.053 | | | | |
| **متغیر وابسته Dependent variable** | **صفات Traits** | **ضرایب همبستگی با وزن تر برگ Correlation coefficients with fresh leaf weight** | **اثر مستقیم Direct effect** | **اثر غیر مستقیم از طریق Indirect effect through** | |
| وزن تر برگ FWL (g) | وزن تر اندام هوایی APFW (g) | 0.70** | 0.70 | ---- | |
| | اثرات باقیمانده Residual effects ($\sqrt{1-R^2}$) =0.51 | | | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

مزیت اصلی تجزیه ضرایب مسیر بر ضرایب همبستگی این است که می‌توان اثر غیرمستقیم هر جزء عملکرد، که از ارتباط متقابل بین اجزاء حاصل می‌گردد را از اثر مستقیم آن جزء بر عملکرد تفکیک نمود (Pantuwan *et al.*, 2002). با استفاده از تجزیه مسیر مشخص می‌شود که همبستگی صفات با عملکرد به علت اثر مستقیم آن‌ها بر روی عملکرد و یا در نتیجه‌ی اثر غیرمستقیم از طریق سایر صفات است. اگر همبستگی بین عملکرد و یک صفت به علت اثر مستقیم آن صفت باشد این مطلب منعکس‌کننده یک رابطه واقعی بین آن‌ها است و می‌توان صفت مذکور را به منظور اصلاح عملکرد انتخاب نمود؛ اما اگر این همبستگی به علت اثر غیرمستقیم صفت از طریق صفات دیگر باشد در این صورت عمل انتخاب را باید بر روی صفتی انجام داد که سبب اثر غیرمستقیم شده است (Nasri *et al.*, 2013).

**جدول ۷- تجزیه ضرایب مسیر برای وزن خشک و تر برگ در ژنوتیپ‌های توتون در شرایط تنش گل جالیز**

**Table 7. The path coefficient analysis for dry and fresh leaf weight in genotypes of tobacco under broomrape stress conditions**

| متغیر وابسته Dependent variable | صفات Traits | ضرایب همبستگی با عملکرد (وزن خشک برگ) Correlation coefficients with dried leaf weight | اثر مستقیم Direct effect | اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect through |
|---|---|---|---|---|
| عملکرد (وزن خشک برگ) Yield (dry weight of leaf) (g) | وزن تر برگ FWL (g) | 0.81** | 0.81 | ---- |
| اثرات باقیمانده Residual effects ($\sqrt{1-R^2}$) =0.35 | | | | |

| متغیر وابسته Dependent variable | صفات Traits | ضرایب همبستگی با وزن تر برگ Correlation coefficients with fresh leaf weight | اثر مستقیم Direct effect | اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect through | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | وزن تر اندام هوایی APFW (g) | سطح برگ LA ($cm^2$) | روز تا گلدهی FD (day) | ارتفاع گیاه PH (cm) |
| وزن تر برگ FWL (g) | وزن تر اندام هوایی APFW (g) | 0.71** | 0.47 | ---- | 0.18 | 0.051 | 0.01 |
| | سطح برگ LA ($cm^2$) | 0.58** | 0.32 | 0.26 | ---- | 0.0019 | 0.0004 |
| | روز تا گلدهی DF (day) | 0.33** | 0.19 | 0.127 | 0.003 | ---- | 0.009 |
| | ارتفاع گیاه PH (cm) | 0.40** | 0.019 | 0.28 | 0.006 | 0.091 | ---- |
| اثرات باقیمانده Residual effects ($\sqrt{1-R^2}$) =0.41 | | | | | | | |

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های توتون انجام شد، تجزیه رگرسیون گام به گام نشان داد که دو صفت عملکرد برگ سبز و تعداد برگ، روی عملکرد برگ خشک اثر معنی‌داری دارند (Mohsenzadeh Golfazani *et al.*, 2012a). گروهی از محققان بر اساس نتایج تجزیه رگرسیون صفات درصد ماده خشک، کیفیت ظاهری برگ‌ها و ضریب سطح برگ را از اجزای عملکرد برگ خشک توتون معرفی کردند (Honarnejad and Shoai-Deylami, 2004). در پژوهشی دیگر ارتفاع گیاه پارامتر مناسبی در اصلاح عملکرد برگ در توتون معرفی شد (Jiao *et al.*, 2007). توصیه شده است که برای افزایش عملکرد برگ سبز در توتون، می‌توان گزینش‌های غیرمستقیمی از طریق افزایش طول برگ و افزایش وزن بوته سبز انجام داد (Mansour Ghanaei *et al.*, 2014).

در مطالعه‌ای بیشترین اثرات مستقیم بر عملکرد در صفات

روز تا گل‌دهی و قطر ساقه مشاهده شد (Legg and Collins, 2001). درحالی‌که در مطالعه دیگر، بیشترین اثر مستقیم بر عملکرد برگ خشک از طریق صفات طول برگ و تعداد برگ مشاهده شد (Cho and Chang, 1990). در مطالعه دیگر بیشترین اثر مستقیم بر روی عملکرد از طریق صفات شاخص سطح برگ و تعداد برگ مشاهده شد (Kara and Esendal, 1996). نتایج متفاوت به‌دست‌آمده می‌تواند به دلیل تأثیر محیط بر روابط بین صفات باشد.

در پژوهش‌های دیگری که در توتون انجام گرفت گزارش شد که با توجه به نتایج تجزیه مسیر، صفات عملکرد تر برگ، طول برگ، تعداد برگ و قطر ساقه می‌توانند به‌عنوان یک معیار گزینشی برای بهبود عملکرد برگ خشک در توتون مورد استفاده قرار گیرند (Hatami Maleki *et al.*, 2011). در بررسی دیگری که بر روی توتون انجام گرفت (Netravati Kumar, 2018) اثر مثبت و غیرمستقیم سطح برگ در بوته و عملکرد برگ تر برای افزایش عملکرد مشاهده شد. با استفاده از رگرسیون گام به گام، صفات ارتفاع بوته، طول برگ و عرض برگ را در افزایش عملکرد برگ توتون‌های بارلی مؤثر دانستند (Gupton and Archer, 1973)، که نتایج این محقق مشابه با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد.

در مطالعه‌ای سطح برگ بیشترین تغییرات عملکرد برگ خشک توتون را توجیه می‌نمود و به‌عنوان یکی از صفات مهم و تأثیرگذار در عملکرد برگ سبز و مؤثر بر افزایش عملکرد برگ خشک شناخته شد (Mohsenzadeh Golfazani *et al.*, 2012b). گروهی دیگر از محققان با استفاده از تجزیه مسیر روی توتون‌های گرمخانه‌ای بالاترین اثرات مستقیم روی عملکرد را مربوط به صفات ضریب سطح برگ و تعداد برگ بیان کردند (Dražić and Šurlan, 1990). بر اساس تجزیه مسیر بیان شد که از عملکرد برگ سبز می‌توان به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم انتخاب در توتون استفاده نمود (Chaubey *et al.*, 1990). بر نتایج تحقیقی نتیجه‌گیری شد که انتخاب گیاهان با ارتفاع مناسب باعث بهبود عملکرد برگ در توتون می‌گردد (Xiao *et al.*, 2006). در واقع با افزایش ارتفاع بوته می‌توان افزایش در مقدار عملکرد برگ سبز و در پی آن افزایش عملکرد برگ خشک را انتظار داشت. به این ترتیب برای افزایش عملکرد برگ سبز در توتون به‌منظور افزایش عملکرد برگ خشک آن، می‌توان گزینش‌های غیرمستقیمی بر مبنای افزایش ارتفاع بوته انجام داد.

در مطالعه‌ای بر روی ۲۶ ژنوتیپ توتون در برابر علف‌های هرز گل جالیز گزارش کردند که ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته و قطر ساقه را می‌توان معیارهای مؤثر انتخاب ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در نظر گرفت (Porkabiri *et al.*, 2019). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان عنوان کرد که در شرایط نرمال صفات سطح برگ و وزن تر برگ و در شرایط تنش صفت وزن تر برگ با توجه به اثر مستقیم مثبت بر عملکرد برگ خشک و حداقل اثرات غیرمستقیم منفی از طریق سایر صفات می‌توانند به‌عنوان معیار انتخاب استفاده گردند.

## نتیجه‌گیری کلی

با مقایسه نتایج رگرسیون گام به گام و تجزیه مسیر بین دو محیط نرمال و تنش ملاحظه شد در هر دو محیط صفت وزن تر برگ جزو صفاتی است که بر عملکرد (وزن خشک برگ) مؤثر بود. در هر دو شرایط وزن تر برگ تأثیر مستقیم مثبت و بالایی بر عملکرد (وزن خشک برگ) داشت و درصد بالایی از تغییرات عملکرد (وزن خشک برگ) را توجیه می‌نمود که اهمیت این صفت را در گزینش ژنوتیپ‌های توتون با عملکرد بالا نشان می‌دهد. البته در شرایط نرمال اثر مستقیم وزن تر برگ بر عملکرد (وزن خشک برگ) نسبت به محیط دارای تنش گل جالیز بیشتر بود. علاوه بر این در هر دو شرایط نرمال و تنش وزن تر اندام هوایی تأثیر مستقیم مثبت و بالایی بر عملکرد وزن تر برگ داشت؛ بنابراین در افزایش عملکرد (وزن خشک برگ) علاوه بر تأثیر مستقیم صفت وزن تر برگ به تأثیر وزن تر اندام هوایی از طریق وزن تر برگ نیز بایستی توجه نمود.

## References

**Arslan, B. and Okunus, A.** 2006. Genetic and geographic polymorphism of cultivated tobaccos (*Nicotiana tabacum* L.) in Turkey. *Russian Journal of Genetics*, 42: 667-671.

**Belsley, D.A., Kuh, E. and Welsch, R.E.** 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity. New York: John Wiley and Sons.

**Bernardo, R.** 2010. Breeding for quantitative traits in plants (2nd ed.). Woodbury, Stemma Press.

**Botelho, T.T., da Silva Leite, P.S., da Costa Parrella, R.A. and Nunes, J.A.R.** 2021. Strategies for multi-trait selection of sweet sorghum progenies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology,* 21(4): e388221410.

**Chaubey, C., Mishra, S. and Mishra, A.** 1990. Study of variability and path analysis for leaf yield components in hookah tobacco. *Tobacco Research,* 16(1): 47-52.

**Cho, M.-C. and Chang, K.-Y.** 1990. Path-coefficient analysis of yield-characters in tobacco. *Korean Journal of Crop Science,* 35(1): 90-96.

**Choukan, R.** 2008. Methods of genetical analysis of quantitative traits in plant breeding (1st ed.). Seed and Plant Improvement Institute Press. (In Persian).

**Dražić, S. and Šurlan, G.** 1990. Genetic and phenotypic path analysis and heritability in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Genetika,* 22(2): 99-104.

**Fernández-Aparicio, M., Reboud, X. and Gibot-Leclerc, S.** 2016. Broomrape Weeds. Underground Mechanisms of Parasitism and Associated Strategies for their Control: A Review. *Frontiers in Plant Science,* 7: 135.

**Gupton, C. and Archer, L.** 1973. Procedure for adjusting the yield of plots of burley tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) for differential stands 1. *Agronomy Journal,* 65(1): 101-104.

**Hatami Maleki, H., Karimzadeh, G., Darvishzadeh, R. and Sarrafi, A.** 2011. Correlation and sequential path analysis of some agronomic traits in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) to improve dry leaf yield. *Australian Journal of Crop Science,* 5(12): 16-44.

**Holland, J.B.** 2006. Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. *Crop Science,* 46: 642-654.

**Honarnejad, R. and Shoai-Deylami, M.** 2004. Gene effects, combining ability and correlation of characteristics in F2 populations of burley tobacco cultivars (*Nicotiana tabacum* L.). *JWSS-Journal of Water and Soil Science,* 8(2): 135-148. (In Persian).

**Jiao, F.C., Xiao, B.G., Yu, H.Q., Zhang, Y.H. and Lu, X.P.** 2007. Gray correlation analysis on the main agronomic characters and yield of the flue-cured tobacco. *Journal of Hunan Agricultural University,* 33(5): 564-567.

**Joh, M.J., Lee, S.C. and Kum, W.S.** 2002. Characters of dihaploids made from anther culture in vitro (*Nicotiana tabacum* L.). *Tobacco Sciences,* 4: 6-31.

**Izadi, Z., Biabani, A., Sabouri, H. and Bahreininejad, B.** 2022. The effect of different levels of urea and planting density on the phytochemical characteristics, alkaloids, and yield of the medicinal plant jimsonweed (*Datura stramonium* L.). *Crop Science*, 63(1): 349-349.

**Kara, S. and Esendal, E.** 1996. Correlation and path analysis for yield and yield components in Turkish tobacco. *Tobacco Research (INDIA),* 22: 101-104.

**Kent, M.A., Crozier, D.S. and Rooney, W.L.** 2022. Assessment of kernel characteristics to predict popping performance in grain sorghum. *Crop Science*, 62(3): 1051-1059.

**Khan, M.M.H., Rafii, M.Y., Ramlee, S.I., Jusoh M. and Mamun M.A.** 2022. Path-coefficient and correlation analysis in Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L.] Verdc.) accessions over environments. *Scientific Reports*, 12: 245. https://doi.org/10.1038/s41598-021-03692-z

**Kuh, E. and Welsch, R.E.** 1980. Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity (Vol. 163): Wiley-Interscience.

**Legg, P.D. and Collins, G.** 1971. Genetic parameters in burley populations of *Nicotiana tabacum* L. I. 'Ky 10' × 'Burley 21'1. *Crop Science*, 11: 365-367.

**Legg, P.D. and Collins, G.B.** 2001. Genetic parameters in Burley populations of *Nicotiana tabacum* L. *Tobacco International*, 173: 33-41.

**Letousey, P., De Zélicourt, A., Vieira Dos Santos, C., Thoiron, S., Monteau ,F., Simier, P. and Delavault, P.** 2007. Molecular analysis of resistance mechanisms to *Orobanche cumana* in sunflower. *Plant Pathology*, 56(3): 536-546.

**Majidi, M. and Mirlohi, A.** 2009. Multivariate statistical analysis in iranian and exotic tall fescue germplasm. *Journal of Science Technology of Agriculture Natural Resources*, 12(46): 787-801. (In Persian).

**Mansour Ghanaei, F., Samieezadeh Lahiji, H., Rabaie, B. and Shoaii Deilami, M.** 2014. Study the relationship between yield and yield components in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) varieties. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 103: 29-37. (In Persian).

**Mohsenzadeh Golfazani, M., Lahiji, H., Aalami, A., Deilami, M. and Sasani, S.** 2012a. Grouping of flue-cured tobacco genotypes based on multivariate statistical analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 14(3): 250-262. (In Persian).

**Mohsenzadeh Golfazani, M., Aalami, A., Samizadeh, H.A., Shoaei Daylami, M. and Talesh Sasani, S.** 2012b. Study of relationship between yield and yield components in tobacco genotype using path analysis method. *Journal of Crop Breeding*, 9: 27-40. (In Persian).

**Nasri, R., Paknejad, F., Sadeghi, S.M., Ghorbani, S. and Fatemi, Z.** 2013. Correlation and path analysis of drought stress on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare*) in Karaj region. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(4): 155-165. (In Persian).

**Netravati and Mohan Kumar, H.D.** 2018. Correlation and path analysis studies on F 2 populations of FCV tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(4): 3430-3433.

**Panikar, S.N. and Goalaswamy, N.** 1997. Path-analysis in Virginia tobacco. *Madras Agricultural Journal*, 63: 224-236.

**Pantuwan, G., Fukai, S., Cooper, M., Rajatasereekul, S. and O'Toole, J.** 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands: Part 1. Grain yield and yield components. *Field Crops Research*, 73(2-3): 153-168.

**Porkabiri, Z., Sabaghnia, N., Ranjbar, R. and Maleki, H.H.** 2019. Morphological traits and resistance to

Egyptian broomrape weed (*Orobanche aegyptiaca* Pers.) in tobacco under greenhouse condition. *Australian Journal of Crop Science,* 13(2): 287.

**Ramachandra, R.K., Nagappa, B.H., Anjaneya, R.B. and Harish, B.B.N.** 2014. Correlation and path analysis studies on bidi tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Indo-American Journal of Agricultural & Veterinary Sciences,* 2(3): 62-69.

**Rubiales D.** 2018. Can we breed for durable resistance to broomrapes? *Phytopathol. Mediterr*., 57(1): 170-185.

**Samonte, PB., Wilson, T.L. and McClung, A.M.** 1998. Path analyses of yield and yield-related traits of fifteen diverse rice genotypes. *Crop Science,* 38(5): 1130-1136.

**Sillero, J.C., Villegas-Fernández, A.M., Thomas, J., Rojas-Molina, M.M., Emeran, A.A., et al.,** 2010. Faba bean breeding for disease resistance. *Field Crops Research,* 115(3): 297-307.

**Tso, T C.** 2006. Tobacco research and its relevance to science, medicine and industry. *Beiträge zur Tabakforschung International/Contributions to Tobacco Research*, 22(3): 133-145.

**Wright, S.** 1921. Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research,* 20: 557-585.

**Xiao, B., Zhu, J., Lu, X., Bai, Y. and Li, Y.** 2006. Genetic and correlation analysis for agronomic traits in flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *Hereditas,* 28(3): 317-323.

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 271-286**

# Investigation of the relationships between some traits in oriental tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) genotypes in the presence of broomrape

**Maryam Tahmasbali[1], Reza Darvishzadeh[2*], Amir Fayaz Moghaddam[2]**

[1]PhD Student in Plant Breeding, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

[2]Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

[*]Corresponding Author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir

Received: 25 March 2022 Accepted: 16 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.335178.1216**

## Abstract

**Introduction:** Tobacco is one of the important agricultural, industrial, and commercial plants that plays an important role in the economies of producer and consumer countries. Broomrape is an absolute parasitic plant that is attached to the roots of many important crops such as tomato, sunflower, cucumber, and tobacco. due to its lack of chlorophyll, it absorbs water and nutrients from the host plant and then reduces the growth and yield of the host plants. In the process of crop breeding, knowledge of relationships between traits is important for indirect selection of traits that are not easily measurable or that have low heritability. So far, few studies have been conducted to investigate the relationship between yield and yield components of tobacco under broomrape stress conditions. The aim of this study was to investigate the relationship between morphological traits and leaf yield (dry weight of leaf) and to determine the important traits effective in increasing the leaf yield of tobacco under normal and broomrape stress conditions.

**Materials and Methods:** In order to determine the most important traits affecting tobacco yield, 92 oriental tobacco genotypes were studied in a completely randomized block design with three replications in the presence and absence of broomrape during two years in the Urmia tobacco research center. The leaves of tobacco genotypes were harvested during industrial ripening and sun -cured. Characteristics such as plant height (cm), day to flowering (day), number of leaves, leaf area (square centimeters), fresh weight of leaf (g), dry weight of leaf (g), fresh weight of root (g), dry weight of root (g), and fresh and dry weight of shoot (g) were measured under normal and stressful conditions. Genotypic correlation coefficients were calculated among traits using Restricted (or residual, or reduced) maximum likelihood in SAS software. The stepwise multiple regressions were performed to identify traits affecting the leaf yield under normal and broomrape stress conditions. By path analysis based on genotypic correlation coefficients, the direct and indirect effects of traits affecting leaf yield were calculated. By path analysis based on genotypic correlation coefficients, the direct and indirect effects of traits affecting leaf yield were calculated.

**Results and Discussion:** Based on step-wise regression analysis, under the absence of broomrape conditions, fresh weight of leaf and leaf area were explained, and in the presence of broomrape conditions, fresh weight of leaf explained 80 and 73% of leaf yield variation, respectively. Based on path analysis, in both conditions, the fresh weight of the leaf showed the highest direct effect on leaf yield. In regression analysis for fresh weight of leaf in the absence of broomrape, aerial part fresh weight and in the presence of broomrape, aerial part fresh weight, leaf area, day to flowering, and plant height explained 61 and 72 % of fresh weight of leaf variation, respectively. In path analysis for fresh weight of leaf, in both the presence and absence of broomrape conditions, aerial part fresh weight showed the highest direct effect on fresh weight of leaf.

**Conclusion:** By comparing the results of step-wise regression and path analysis between two normal and broomrape stress conditions, it was observed that fresh weight of leaf is one of the traits that was effective on tobacco leaf yield in both conditions. In both conditions, the fresh weight of the leaf had a high and positive direct effect on leaf yield and explained a high percentage of changes in leaf yield, which shows the importance of this trait in the selection of high-yielding oriental tobacco genotypes. Of course, under normal conditions, the direct effect of the fresh weight of the leaf on tobacco leaf

yield was greater than in the broomrape stress conditions. Therefore, the fresh weight of the leaf is introduced as the most important factor in both normal and broomrape stress conditions for increasing oriental tobacco leaf yield in breeding programs.

**Keywords:** Abiotic stress, Indirect selection, Industrial crops, Path analysis, Stepwise regression